

ON THE INTERACTIONS BETWEEN THE ATMOSPHERE,
OCEAN AND SOLID-EARTH THROUGH THE EARTH'S
ROTATION (地球回転運動における大気・海洋・固体
地球の相互作用について)

著者	内藤 勲夫
号	587
発行年	1979
URL	http://hdl.handle.net/10097/24283

氏名・（本籍）	ないとういさか 内 藤 勲 夫
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 第 587 号
学位授与年月日	昭和 54 年 4 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最 終 学 歴	昭和 44 年 3 月 東北大学大学院理学研究科 (修士課程)地球物理学専攻修了
学 位 論 文 題 目	ON THE INTERACTIONS BETWEEN THE ATMOSPHERE, OCEAN AND SOLID-EARTH THROUGH THE EARTH'S ROTATION (地球回転運動における大気・海洋・固体地球の相互 作用について)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 田 中 正 之 教 授 鳥 羽 良 明 教 授 大 家 寛 教 授 上 山 弘 助教授 近 藤 純 正

論 文 目 次

第 1 部 地球回転運動のチャンドラーウォブルに応答する海洋の極潮汐

要 旨

1. 序 論

2. 地球のウォブルについて

2-1 基礎方程式

2-2 チャンドラーウォブルの性質

3. 極潮汐の理論
 - 3-1 平衡極潮汐
 - 3-2 準平衡極潮汐
4. 極潮汐の解析
 - 4-1 資料と解析方法
 - 4-2 極潮汐応答関数の南北分布
 - 4-3 極潮汐の経年変化
5. チェンドラーウォブルによぼす極潮汐の効果
6. 議 論
7. 結 語

参考文献

図 表

第2部 緯度変化から決定された平均極及びZ項の長周期変化と海洋変動との関係 要 旨

1. 序 論
2. 緯度変化とその資料について
3. 平均極振動
4. Z項の長周期変化
5. 海洋の長周期変動
 - 5-1 大規模海洋変動
 - 5-2 黒潮大蛇行
6. 海洋と地球回転運動との相関変動
7. 議 論
8. 結 語

参考文献

図

論文内容要旨

第 1 部

1765 年, Euler は剛体の回転運動を論じ, 空間で外力を受けずに回転する剛体の自転軸は, その形状軸 (最大慣性能率を持つ軸) に対して周期運動することを明らかにした。地球の場合に適用すると, その周期は約 305 日 (Euler 周期) である。しかし, 305 日周期の緯度変化は発見されず, この周期が, 実は約 428 日であることを見出したのは, Chandler (1891) である。つまり, 地球は剛体ではなく海洋等による変形のために Euler 周期は約 40% 長くなると説明される。この自転軸のふらつきを, チャンドラーウォブルと呼んでいる。約 40% のチャンドラーウォブルの周期の引き延ばし効果の中で, 海洋がどの程度の役割を果し得るかを究明することによって, 残る固体地球の変形の大きさを知ることができ, したがって, 固体地球の弾性的性質等を知ることができる。このチャンドラーウォブルに応答する海洋潮汐を極潮汐と呼んでいるが, この極潮汐は現在では次のように説明されている。チャンドラーウォブルによって地球の自転軸が傾くと回転半径が変化して, 地球表面の物体が受ける遠心力の変化に伴う等重力面の変化がもたらされ, それに海水が応答し, 約 14 カ月の海洋潮汐が生ずる。

極潮汐がチャンドラーウォブルにおよぼす力学的効果の厳密な研究は, Haubrich・Munk (1959) によって試みられ, 潮汐摩擦のない平衡極潮汐はチャンドラーウォブルの周期を約 1 カ月引き延ばす効果をもつことが明らかにされた。実際の水面変動資料に基づく極潮汐の解析は, 多くの人達によって試みられ, 極潮汐がほぼ全世界に存在していることが明らかにされている。しかし, チャンドラーウォブルと極潮汐の位相関係は解釈不可能なほど複雑であった。この主な理由は, チャンドラーウォブルの強い経年変化を無視して極潮汐の調和解析を行なったことに起因している。つまり, チャンドラーウォブルは, 405 日から 438 日の程度の幅で周期を経年変化させ, 1920 年代に極小周期を持っている。あるいは, 周期を約 435 日と固定した場合, その位相は 1920 年・1930 年代で大きく変化している。したがって, 極潮汐の解析を試みる場合, このような周期または位相の経年変化を無視することはできない。

このようなチャンドラーウォブルの経年変化は, チャンドラーウォブルの励起と減衰の機構に由来している。例えば, 大気質量の東西非対称分布の不規則変動はチャンドラーウォブルの振幅の約 25 % 程度を励起することが明らかにされ, 残る大部分の振幅の励起を地震による断層変形に求め得るかどうかは現在最も重要な課題とされている。一方, チャンドラーウォブルの減衰は, 粘弾性的性質をもつと言われるマントルと海洋の極潮汐の両方に依存していると考えられている。ここで重要なことは, もし, 海洋がチャンドラーウォブルの減衰源であるならば, 極潮汐の位相はウォブルに比べて, わずかに遅れていなければならないということである。反対に, 極潮汐の

位相が進んでいるならば、極潮汐はチャンドラーウォブルを増幅していることになる。

以上より、現在、次のような極潮汐の力学における未解決課題が残されている。

- (1) 非平衡極潮汐がチャンドラーウォブルにおよぼす力学的効果についての理論的議論
- (2) チャンドラーウォブルの周期または位相の経年変化を考慮して、実際の極潮汐と平衡極潮汐との振幅比、位相差を世界の海洋について調べ、それらの経年変化を算出すること。
- (3) 極潮汐がチャンドラーウォブルの減衰源であるのみならず、励起源である可能性を議論すること。

本論文では、以上の課題について考察され、以下のような結論が得られた。

課題(1)については、次のような準平衡極潮汐を導入して考察した。実際の極潮汐の平衡潮に対する振幅比を A_R 、位相遅れを α とすると、 (A_R, α) が全海洋で一樣の場合の極潮汐を考える。Haubrich・Munk (1959)による平衡潮理論と同様にして、自転軸の運動方程式に上の準平衡極潮汐を外力として与えて解くと、チャンドラーウォブルの振幅変化率と位相変化が (A_R, α) の関数として導くことができる。この関係式によると、チャンドラーウォブルの位相変化が存在しないとき、 $(A_R, \alpha) \approx (1.03, \pm 14^\circ)$ を満たす準平衡極潮汐は ± 0.1 /年程度のチャンドラーウォブルの振幅変化率をもたすことが明らかとなる。つまり、振幅は平衡極潮汐と同程度であっても、位相が約 14° だけ平衡潮に対して進んでいたり、遅れているような極潮汐はチャンドラーウォブルの観測されている程度の振幅変化率($\approx \pm 0.1$ /年)の経年変化をつくり出していると説明することができる。従って、極潮汐は、チャンドラーウォブルの周期を引き延ばしたり、振幅が減衰させたりするばかりでなく、励起する効果をも持っていることが明らかになった。

課題(2)については、世界の海水面高度資料を用いて、 (A_R, α) を世界の種々の海域で計算し、その経年変化も算出した。計算は、チャンドラーウォブルの最適周期を434日として、チャンドラーウォブルの位相の経年変化を考慮して行われた。まず、海水面高度資料が最も良く整備されている1945から1964年までの20年間について (A_R, α) の南北分布を計算した。それによると、実際の極潮汐の振幅は、平衡潮より大きく、平均して1.4倍大きく、 45°N 付近で平衡潮に近ずき、高・低緯度では平衡潮の数倍大きい。同様の傾向は位相についても見られ、 45°N 付近で同位相、高緯度で平衡潮より遅れ、低緯度で進みの傾向をもつ。このような振幅と位相の南北分布は、中央太平洋におけるホノルルの値もよく適合している。次に、 (A_R, α) の経年変化を求めてみると次のような事実が明らかになった。Baltic海や北海沿岸では、1940年代で約7cmにもおよぶ異常に大きな振幅が見出され、これは浅海効果や内海であることに起因すると考えられるが、チャンドラーウォブルが極小を示す1920年・1930年代でさえも、極潮汐が卓越し、数cmにも達するところもある。これは、明らかに、理解できない事実である。日本付近では、比較的平衡潮に近い経年変化を示す。外洋の観測点として最も注目されるホノルルでは、振幅は平衡潮に近いが、位相は1940年代以後、約 80° だけ平衡潮より進みの傾向を示す。一般に、浅海

では振幅が大きく、位相は遅れ、深海では振幅は平衡潮に近いが、位相は遅れ・進みの両方の性質を持つ。特に、1920 年以前では位相遅れ、1940 年以後では位相進みの傾向を示す。従って、Roudman (1960) の予言に反して、極潮汐は平衡潮ではない。

課題③については、(1)と②の結果から、次のように結論される。実際の極潮汐は、高・低緯度の位相の遅れ・進みを考慮すると、全体としては、チャンドラーウォブルに対して、あたかも平衡潮であるかのような効果をおよぼしている。しかし、過去 2 回のチャンドラーウォブルの振幅極大期である 1910 年代、1950 年代では、その効果は多少異なり、1910 年代では極潮汐はチャンドラーウォブルを減衰させる効果のみ持ち、1950 年代では、むしろ増幅する効果を持っていた可能性が高い。海水面高度資料は外洋ではほとんど存在しないので、これ以上の量的議論は不可能であるが、少なくとも、太平洋における極潮汐がチャンドラーウォブルの残された振幅の励起に果たす役割は大きいと言える。この論文で明らかにされた極潮汐の非平衡特性は、大気・海洋の大規模相互作用に起因する海洋の大洋規模の運動と極潮汐との結合によってもたらされたと考えられ、地球全体としては、大気・海洋・固体地球は一種の相互作用をおよぼし合っていると考えられる。

第 2 部

1900 年に ILS (国際緯度観測事業) が発足し、北緯 $39^{\circ}08'$ に沿う 8 ～ 5 観測所 (水沢, Kitab, Carloforte, Gaithersburg, Ukiah) で同一星による緯度変化の観測が行われ、地球自転軸の極の運動 (極運動) が決定された。その直後に、Kimura (1902) による極位置の決定方程式の修正案が提出され、有名な Z 項を含む決定方程式が採用され、緯度変化から、極運動と Z 項が同時に計算されている。この Z 項は、一般には、年周変化のみ示すと考えられてきたが、この論文で明らかにされたように、大きな経年変化をも示す。

極運動からチャンドラーウォブルと年周ウォブルをとりのぞくと、平均の極位置 (平均極) が得られる。約 70 年間にわたる平均極の変化は、ほぼ米大陸東部のニューファンドランド方向に、約 20 フィート移動していることが明らかにされ、この原因は主にグリーンランドの氷がとけて地球の慣性集積が変化したことと、マントル対流によるプレートの移動に伴う質量の海溝付近における蓄積による慣性集積変化に依存していると考えられている。平均極のこのような移動に、約 30 年程度の周期を持つ振動 (平均極振動) が含まれているが、この励起源については、現在まだ定説がない。その振動方向は、ほぼ $125^{\circ}W$ の方向で、変動の時間スケールから期待される励起源は、海洋運動に求められるべきと考えられている。

一方、Z 項から年周変化をとりのぞくと、不規則な長周期成分が得られ、この原因については、現在まで全く明らかにされていない。一般に、このような不規則な Z 項の変化の原因として、地球重心移動、緯度観測所付近におけるジオイドの変形、観測所の移動等が考えられている。変動の時間スケールが数年程度であることから、平均極振動と同様にして、海洋運動に励起源を求

めるのが最も可能な考え方である。さらに、本来、平均極もZ項の長周期成分も緯度変化から最小二乗法で決定されるのであるから、これらに物理的考察を加える場合、分離して考えることはできないと考えられる。

本論文では、以上のような平均極振動とZ項の長周期不規則変化を、近年、気候変動の一因として重要視されている大規模海洋変動に結びつけて、議論し、さらに、よく知られた黒潮大蛇行を大規模海洋変動のインデックスとみなして、1900年以来報告されている平均極及びZ項の変動と海洋変動との関係を議論した。その結果は以下のようにまとめられる。

Z項は予想に反して大きな経年変化を持ち、最大 $0.01^\circ/\text{年}$ にも達し、その変動の時間スケールは2～10年である。Z項の長周期成分をスペクトル解析したところ、15～19カ月、25～40カ月、5年及び7.5年の有意な周期が見出された。これらの地球物理学的励起源は、地球重心の南上振動をひきおこすような水圏における水の南北振動に求められると考えられる。この中で、15～19カ月振動は、現在までにはほとんど報告されていなかったが、これらの振動も最近になって著者らによって、海水面変動等に見出された。一般に、Z項の経年変化は北太平洋における海洋表層の諸現象と密接な相関関係にあり、特に、1955年から1959年にかけてのZ項の急激な減少は、同期間における、よく知られた北太平洋の大規模海洋変動に対応することが明らかにされた。しかしながら、これらのZ項の急減少を海洋変動のみで説明することは、いかなる励起機構を考えても、定量的には不可能である。

平均極振動は、その大きさから考えると、東部北太平洋上における海水質量の変化、約3 mb程度で十分励起されることが考えられるから、上述の大規模海洋変動と密接な関係を持つと考えられている黒潮大蛇行を海洋変動のインデックスとみなして、平均極振動とZ項の不規則変化の両方を海洋変動に結びつけて考察したところ、次のような新事実が見出された。平均極が東部北太平洋方向からヨーロッパ大陸方向へ移動方向を変化させるとき、あるいは、Z項が減少から増加に転ずるとき、黒潮大蛇行が発生する。この事実は、黒潮大蛇行が太平洋における大規模海洋変動のインデックスになっているばかりでなく、水文学的諸現象のインデックスにもなり得ることを示唆している。上述の黒潮大蛇行と平均極振動及びZ項の経年変化との相関を、黒潮大蛇行の直接的な観測報告の存在しない1924年以前にさかのぼって考察すると、平均極及びZ項の変化から、1916年頃に黒潮大蛇行が発生し、数年間存在していたことが示唆された。一般に、このような相関から、1934年、1969年の黒潮大蛇行は、1953年、1959年、そして最近の1975年の大蛇行とは発生のメカニズムを異にしていることが予想される。特に、1959年の大蛇行の発生は、地殻プレートの移動、あるいは局所的なジェオイドの変形と何らかの関係を持つと思われる北太平洋における海水質量変動と強く結びついていると推測される。

大雑肥に見ると、平均極振動はおそらく東部北太平洋における海水質量変化で励起されると思われるが、これは今後の海洋変動の量的な根拠によって明らかにされるはずである。一方、Z項

の不規則な経年変化は、上述の海洋変動と相関を持つような、海洋底の地殻プレートの移動、もしくは、関係する局所的なジオイドの変形をもたらすような地球内部のまだ知られていない運動に起因すると考えられる。その根拠として、北太平洋をとりまく地殻プレートの境界で発生する巨大地震が、黒潮大蛇行の消滅期間にのみ集中して発生している事実等が見出された。

以上のような種々の相関関係は、偶然的ではあるが、力学的に閉じた系の存在を考えねばならないことを示唆している。即ち、大気・海洋・固体地球内部の運動が回転地球における角運動量収支とジオイドの安定化の条件の下に、一種の相互作用をおよぼし合っていると考えられ、この考えは、今後の大気・海洋系のみならず固体地球内部の動的諸現象の解明のための作業仮説とも考えられる。

論文審査の結果の要旨

内藤勲夫提出の論文は、「地球回転運動における大気・海洋・固体地球の相互作用について」と題し、第1部および第2部よりなっている。第1部においては地球回転運動に伴うチャンドラー・ウォブルと海洋の極潮汐の関係を理論と観測結果の解析の両面から考察している。チャンドラー・ウォブルというのは、地球の自転軸が形状軸に対して行う周期430数日程度の運動であり、これに応答する海洋潮汐が極潮汐である。極潮汐がチャンドラー・ウォブルにおよぼす力学的効果については、潮汐摩擦のない平衡極潮汐の場合には理論的に詳しく研究されているが、より現実的な非平衡極潮汐の場合の研究はない。一方、実際の海水面変動資料に基づき極潮汐の解析は、多くの研究者によって試みられており、極潮汐がほぼグローバルに存在していることが確かめられつつある。しかしながら、チャンドラー・ウォブルと極潮汐の関係は、量的にはまだほとんど理解されていないといってよい。この立場から著者は、先ず、理論的な平衡潮とは振幅および位相の異なる現実的な極潮汐を、地球の自転軸の運動方程式に外力として与えたとき、チャンドラー・ウォブルの振幅変化率と位相変化を求め、実際の極潮汐がチャンドラー・ウォブルの励起や減衰におよぼす効果を知る上での目安を得ている。次に、世界各地の海水面高度に関する長年の資料を用いて、極潮汐の解析を行い、極潮汐の複雑な実態および理論的な平衡潮からの偏差などの経年変動を明らかにしている。さらに、これらの研究結果を総合して、極潮汐がある時期にはチャンドラー・ウォブルを減衰させるが、別の時期にはこれを増幅させるなど、極潮汐とチャンドラー・ウォブルの間の力学的なカップリングが単純ではないことも示している。第2部においては、平均極（平均の極位置）やZ項の長期的変動に着目し、その実態や含まれている各種の周期成分を明らかにするとともに、地球物理学的諸現象との相関を調べて、いくつかの興味深い対応関係を見出している。特に、日本近海における黒潮の大蛇行の発生・消滅と平均極あるいはZ項の変動の間のよい対応関係や巨大地震が黒潮大蛇行の消滅時に集中する傾向のあることなどを見出し、それらを総合して、大気・海洋・固体地球内部の運動が角運動量収支やジェオイドの安定化の条件の下に、相互作用をおよぼし合っていることを推論している。

以上、本論文は、地球の回転運動と関連する地球物理学的諸現象を総合的に捉えようと試みたもので、先駆的な研究として興味深いものであり、著者が自立して研究活動を行うのに必要な研究能力と学識を有することを示している。よって、内藤勲夫提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。